

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND  
ROBOTICS

## REŠERŠE MĚŘÍCÍCH SYSTÉMŮ A METOD AUTOMATICKÉ KONTROLY OBROBKŮ U OBRÁBĚCÍCH CENTER

EVALUATION OF MEASURING SYSTEMS AND METHODS FOR AUTOMATIC INSPECTION  
OF WORKPIECE FOR MACHINING CENTERS.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JOSEF HRABAL

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MIROSLAV OPL

BRNO 2009



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Josef Hrabal

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

**Rešerše měřících systémů a metod automatické kontroly obrobku u obráběcích center**

v anglickém jazyce:

**Evaluation of measuring systems and methods for automatic inspection of workpiece for machining centers.**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na problematiku ustavování nově zakládaných dílců do stroje a měření obrobků během nebo po skončení obrábění za použití dotykových sond a bezdotykových měřících systémů.

Cíle bakalářské práce:

1. Na základě literárních a internetových zdrojů proveďte rešerši prostředků pro kontaktní a bezkontaktní způsoby kontroly ustavení nově zakládaných obrobků do výrobního stroje.
2. Uveďte metody využívané pro automatické měření a ustavování obrobků u obráběcích center.

Seznam odborné literatury:  
[www.renishaw.cz](http://www.renishaw.cz)  
[www.fanuc.cz](http://www.fanuc.cz)  
[www.heidenhain.cz](http://www.heidenhain.cz)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Opl

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 4.11.2008

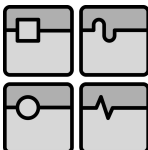
L.S.

---

Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## ASTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá ustavováním nově vkládaných obrobků do obráběcích center a měření během i po skončení obrábění. Tento proces se děje za použití kontaktních sond a bezdotykových měřících zařízení. Výsledkem jsou základní informace o principu funkce měřících sond, přenosu naměřených dat a popis prvků potřebných ke správné funkci sond.

## Klíčová slova

Měřicí systémy, ustavení obrobků, kontaktní sondy

## ABSTRACT

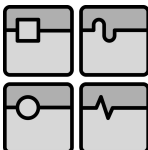
This bachelor thesis deals with locating new workpieces inserted into the machining center and measurements during and after the machining. This process is going on using contact probes and contactless measuring devices. The result is basic information about the function of the principle of measuring probes, the transmission of measured data and a description of the elements necessary for the proper functioning probes.

## Key words

Measuring systems, locating workpieces, contact probes

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRABAL, J. *Rešerše měřících systémů a metod automatické kontroly obrobků u obráběcích center*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miroslav Opl.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

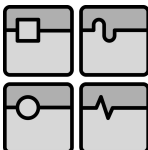
## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Rešerše měřících systémů a metod automatické kontroly obrobku u obráběcích center vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Podpis bakaláře

.....  
Jméno a příjmení bakaláře

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

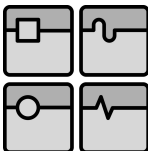
## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Miroslavu Oplovi, za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

## Obsah

Abstrakt.....	5
Prohlášení.....	6
Poděkování.....	7
Obsah.....	8
Úvod.....	9
1. Důvody použití měřících sond pro obráběcí stroje.....	10
2. Použití měřících sond.....	11
2.1 Kontrola rozměrů.....	11
2.2 Ustavení obrobků.....	11
3. Kontaktní sondy.....	12
3.1 Příklad použití kontaktní sondy.....	12
3.2 Pomoc při výběru dotykové sondy pro frézovací centra.....	13
3.3 Princip funkce kontaktních sond.....	14
3.3.1 Řešení od firmy HEIDENHAIN.....	14
3.3.2 Řešení od firmy Renishaw.....	15
3.3.2.1 Přesnost měření kinematických sond.....	18
3.4 Přesnost.....	18
3.5 Přenos signálu.....	19
3.6 Zásady pro přesné sejmutí bodu kontaktu.....	22
3.7 Dotykové hroty.....	23
3.8 Snímání.....	25
3.8.1 Rychlost snímání.....	26
3.9 Vychýlení dotykového hrotu.....	26
3.10 Krytování kontaktních sond.....	26
3.11 Řešení pro obráběcí centra.....	26
4. Bezkontaktní sondy.....	29
5. Shrnutí.....	29
Závěr.....	30
Seznam použitých zdrojů.....	33
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	32



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## ÚVOD

V dnešní době se klade stále větší důraz na kvalitní výrobky. Ruční ustavování obrobků jsou velmi náročná jak časově tak i závislá na odbornosti a preciznosti pracovníka, který vnáší do procesu chyby. Se stále se zvyšujícími cenami energií a platy je doposud používaná metoda manuálního ustavení a měření dílců neproduktivní.

Pro dodržení těchto potřeb je nový trend a to použití měřících sond přímo na obráběcím stroji. Princip funkce, vhodnost použití, výhody a nevýhody jsou popsány v následujícím textu.

Na trhu jsou k dostání dané měřicí prvky od řady známých firem jako jsou např. Renishaw, Fanuc, Heidenhain. Zmíněné společnosti nabízejí kompletní instalaci snímacího systému a vyškolení programátorů za účelem efektivního využití.



Obr. 1 Sonda OMP60 – s optickým přenosem dat [1]

## 1. Důvody použití měřicích sond pro obráběcí stroje

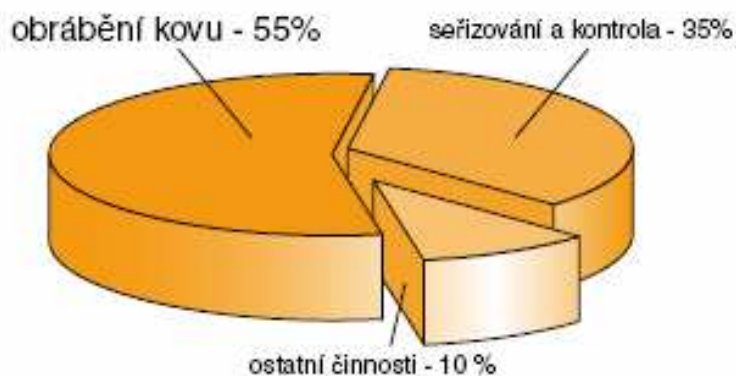
Pomocí měřicích sond můžeme výrazně zkrátit čas seřizování stroje a tím jeho prostoje, které jsou velmi nákladné. Snižuje se také zmetkovitost, která je způsobena ručním nastavováním a kontrolou.

Doposud používané nastavování dílců pomocí číselníkových úchylkoměrů způsobuje chybu, které se dopouští obsluha. Hlavní nedostatek je zdlouhavý čas seřízení stroje, který potřebujeme k vytváření složitých upínacích prvků dílce a také pro každý nástroj je potřeba opakovaně odměřit jeho délku. Snímání pomocí sond je velmi rychlé a dané odchylky stroje se lehce upraví.

V dnešní době bývají měřicí sondy součástí výbavy nového CNC stroje, avšak dají se dokoupit do již používaných starších strojů.

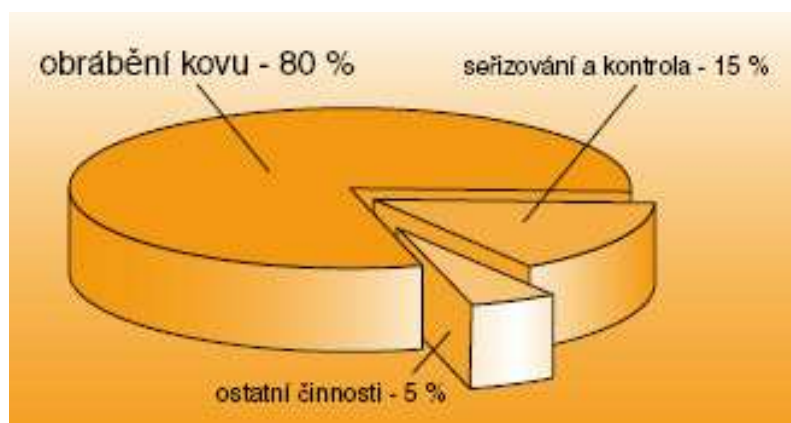
Pro lepší poukázání závislosti prostojů stroje a samotným obráběním, s použitím a bez použití měřicích sond, jsou zde zobrazeny dva grafy.

### Rozložení výrobních časů v procentech bez použití snímacích systémů

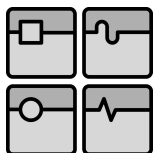


Obr. 2 ruční seřizování [1]

### Rozložení výrobních časů v procentech s použitím snímacích systémů



Obr. 3 seřizování pomocí snímačů [1]



## **2. Použití měřících sond**

Snímací systémy jsou navrženy pro několik operací:

- kontrola rozměrů
- ustavení obrobků
- seřízení a detekce zlomení nástroje

### **2.1 Kontrola rozměrů**

Snímací sondy se používají pro kontrolu rozměrů během a po skončení obrábění. Použití těchto sond vede k výhodám:

- snížení časů prostoje během měření prvního kusu, které může být velmi obtížné
- automatická korekce chyb během obrábění
- eliminace chyb způsobených vyjmutím dílců pro externí měření a tím snížení zmetkovitosti



Obr. 4 kontrola rozměrů obrobku [1]

### **2.2 Ustavení obrobků**

Měřicí sondy pro číslicově řízené stroje umožňují ustavení a identifikaci nově zakládaného dílce. Zjistí polohu obrobku vzhledem k souřadnému systému stroje, tak může systém na základě zjištěných údajů posunout a natočit souřadný systém do aktuálního bodu. Opakovaným ustavením získáváme stejně přesné výsledky, tím zvyšujeme produktivitu a snižujeme možnost výroby zmetků.

### **3. Kontaktní sondy**

Dotykové sondy pracují na principu kontaktu s měřenou součástí. princip funkce je jednoduchý. Program navádí sondu na bod, jehož souřadnice chceme odměřit. Při kontaktu doteku sondy z povrchem součásti je odeslán signál s daty do řídicího systému stroje. Na základě dat jsou zaznamenány pozice na v jednotlivých osách stroje. Proces se opakuje do té doby, dokud je potřeba snímání bodů pro určení daného tvaru. Např. měření kruhového otvoru čtyřmi body. Systém zaznamená hodnoty v jednotlivých bodech a po té vyhodnotí rozměr daného tvaru.

Na trhu jsou k dostání 3D dotykové sondy pro měření přímo na obráběcím stroji. Dělí se dle druhu výměny nástrojů. U ruční výměny nástrojů se použije kabelový přenos dat. Stroje s automatickou výměnou nástrojů používají přenos infračerveným paprskem nebo radiovým signálem.

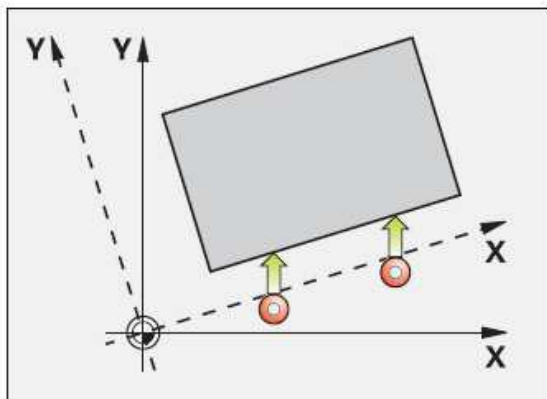
Dle zvoleného režimu můžeme:

- nastavit nulový bod obrobku
- doladit polohu dílce po upnutí
- proměřit rozměry po ukončení obrábění

Naměřené hodnoty dílce se také používají pro korekci opotřebení nástroje, dále k posouzení přesnosti stroje. Tyto informace lze pomocí datového rozhraní stroje přehrát do počítače.

#### **3.1 Příklad použití kontaktní sondy: - vyrovnaní obrobku**

Přesné vyrovnaní obrobku s pracovními osami je velmi důležité, obzvlášť pro rozpracované díly. Vyrovnaním pomocí sondy ušetříme čas ke zdoluhavému ustavování nebo k výrobě drahých upínacích přípravků.



Obrobek je upnut v libovolné poloze. Kontaktní sonda zjistí polohu nasnímáním pomocí jedné plochy, dvou vrtaných otvorů. Tak je zjištěn odklon obrobku od souřadných os stroje. Obráběcí stroj si dle naměřených hodnot natočí souřadný systém. Kompenzaci natočení lze také provést pomocí natočení stolu pokud je tato možnost u stroje.

Obr. 5 kompenzace natočení obrobku [2]

### 3.2 Pomoc při výběru dotykové sondy pro frézovací centra

Dotykové sondy se používají k vyrovnání dílce, nastavení počátku obrábění a měření obrobku přímo na stroji. Dotykový hrot spíná 3D-dotykové sondy. Tyto sondy se vychýlí při najetí na povrch obrobku. Při vychýlení se vygeneruje elektrický signál. Tento elektrický signál může být přenesen do CNC řízení třemi způsoby: kabelem, infračerveným paprskem nebo radiovým signálem. Spínací signál se tvoří za pomoci optického senzoru. Optický senzor pracuje bez opotřebení a vykazuje vysokou spolehlivost. Uvedené sondy vyrábí firma HEIDENHAIN.

	3D-dotyková sonda			
Typ stroje	NC stroj s automatickou výměnou nástrojů			
Přenos signálu	Infračervený s vysílací a přijímací jednotkou SE <ul style="list-style-type: none"><li>• SE 540 k vestavbě do vřeteníku</li><li>• SE 640 pro montáž v pracovním prostoru stroje</li></ul>			
Elektrické napájení	2 baterie či akumulátory 1 až 4 V	přes integrovaný generátor se vzduchovou turbínou	2 baterie či akumulátory 1 až 4 V	
Typ signálů k řízení	Úroveň signálů HTL přes vysílací/přijímací jednotku SE			
Reprodukovatelnost snímání	2 σ ≤ 1 μm (při 1 m/min)			2 σ ≤ 0,25 μm (při 0,25 m/min)
Typ	TS 440	TS 444	TS 640	TS 740

Obr.6 tabulka 3D-dotykových sond s automatickou výměnou nástroje [2]

Typy dotykových sond HEIDENHAIN:

a) **S infračerveným přenosem signálu** – určen pro stroje s automatickou výměnou nástrojů:

**TS 440** - kompaktní rozměry

**TS 444** - kompaktní rozměry, bez baterie - napájení z integrované vzduchové turbíny s generátorem, jež je připojená k centrálnímu rozvodu stlačeného vzduchu

**TS 640** - standardní dotyková sonda s infračerveným přenosem na velkou vzdálenost.

**TS 740** - vysoká přesnost snímání a reprodukovatelnost, nepatrná dotyková síla.[2]



Obr.6 dotyková sonda TS 440 [2]

b) **S přenosem signálu kabelem** - určen pro stroje s ruční výměnou nástrojů:

**TS 220** – verze TTL

**TS 230** – verze HTL[2]

### **3.3 Princip funkce kontaktních sond**

#### **3.3.1 Řešení od firmy HEIDENHAIN**

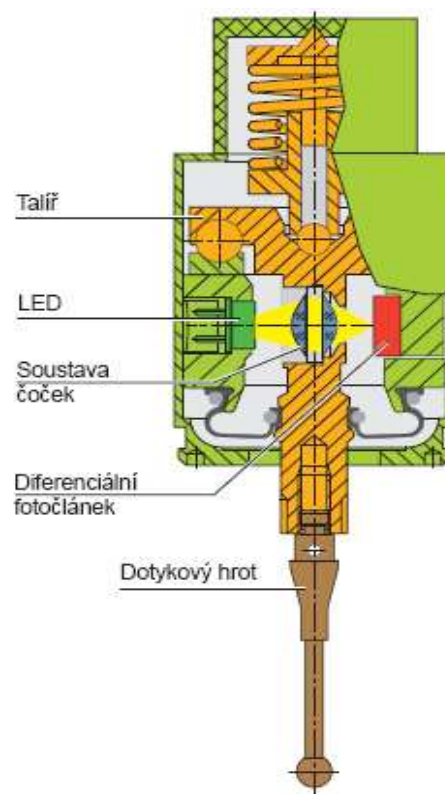
##### **TS 2xx, TS 44x, TS 640**

3D kontaktní sondy firmy HEIDENHAIN pracují s jedním optickým snímačem jako senzorem. Světelné paprsky vychází z LED diody, pomocí soustavy čoček jsou fokusovány do jedno místa (bodu) na diferenciální fotočlánek.

Použitím sondy dojde k vychýlení dotykového hrotu, tím vygeneruje diferenciální fotočlánek spínací signál.

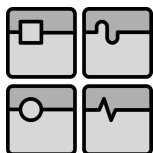
Sonda pracuje na principu bezdotykového optického snímače, není tak mechanicky opotřebována, je zaručena vysoká stabilita a dlouhý spolehlivý provoz 3D dotykových sond.

Dotykový hrot je přidělán k čepu prizmatického talíře, který je uložen uvnitř sondy v tříbodovém ložisku. Tříbodové uložení zajišťuje fyzikálně ideální klidovou polohu.[2]



Obr. 7 sonda s jedním optickým snímačem jako senzorem [2]





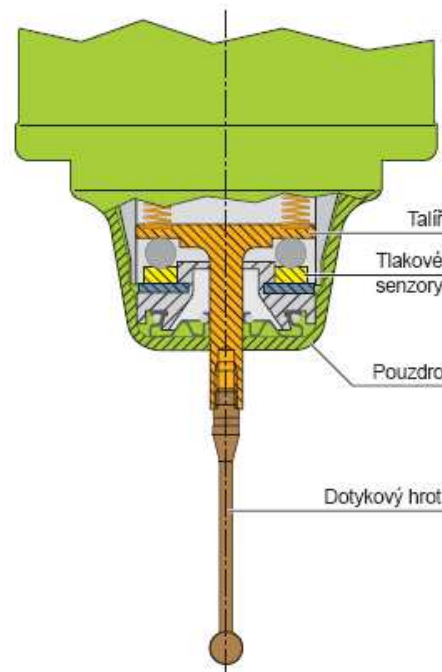
## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**TS 740**

Dotyková sonda TS 740 pracuje s vysoce přesným piezo senzorem. Spínací signál se vytváří na pomoci elektronické analýzy síly potřebné k vychýlení dotykového hrotu.

Tento postup umožňuje rovnoměrnou přesnost snímání celých 360°.

Vychýlení dotykového hrotu u TS 740 je zjištěno použitím více piezo senzorů. Tyto senzory jsou uloženy mezi talířem a pouzdem. Při snímání je vychýlen hrot, přes talíř a kuličku je na senzor vyvinuta síla. Vzniknou signály, které jsou přepočítány a následně je vygenerován spínací signál. Na základě malých vychylovacích sil je možná vysoká přesnost a reprodukovatelnost téměř bez snímací charakteristiky.[2]



Obr. 8 sonda s piezo senzorem [2]

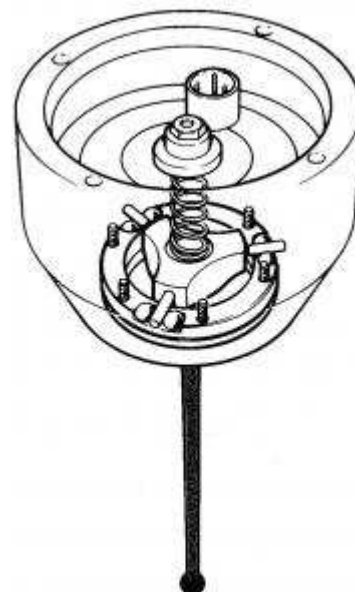
**3.3.2 Řešení od firmy Renishaw**

Jednoduchý spínací mechanismus kinematické sondy je řešením pro mnoho dílenských aplikací již 35 let.

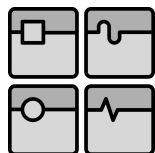
Renishaw spínací mechanismus kinematických sond je založený na pohyblivém uložení tří přesných ocelových válečků ve třech dvojicích ocelových kuliček. dotyk válečků s kuličkami zajišťuje tlačná pružina.

V tomto uložení se vyskytuje celkem 6 stykových bodů, které znamenají jedinečnou polohu kuličky dotyku a vynikající opakovatelnost spínání respektive rozpínání sondy.

Při měření je umožněno vychýlení dotykového hrotu pomocí pružiny, která po odlehčení zatížení na hrot vrací mechanismus do základní klidové polohy. Přesné vrácení dotyku do původní polohy je základem pro přesné měření.

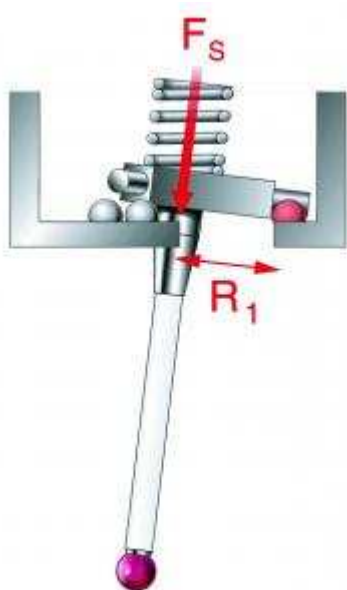


Obr. 9 kinematická sonda firmy Renishaw [1]



Jednotlivé kontaktní elementy jsou vyrobeny z karbidu wolframu. Materiálové vlastnosti zmiňovaného materiálu minimalizují elastickou deformaci elementů při působení měřících sil.

Kontakty jsou navzájem elektricky propojeny. Při kontaktu dílce s měřícím hrotem dojde v jednotlivých smyčkách ke změně elektrického odporu. Tento jev je hodnocen jako kontakt s měřeným dílcem. Po té jsou odečteny a zaznamenány hodnoty souřadnic v osách.



Obr. 10 kinematická sonda firmy Renishaw [1]

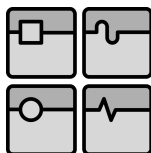
Mezi okamžikem dotyku kuličky hrotu s měřeným objektem a zaznamenáním naměřených souřadnic z pravítek stroje vzniká chyba zpožděním. Doba tohoto zpoždění se nazývá Pre-travel variation (PTV).

### **Sondy se spínacím mechanismem Rengauge**

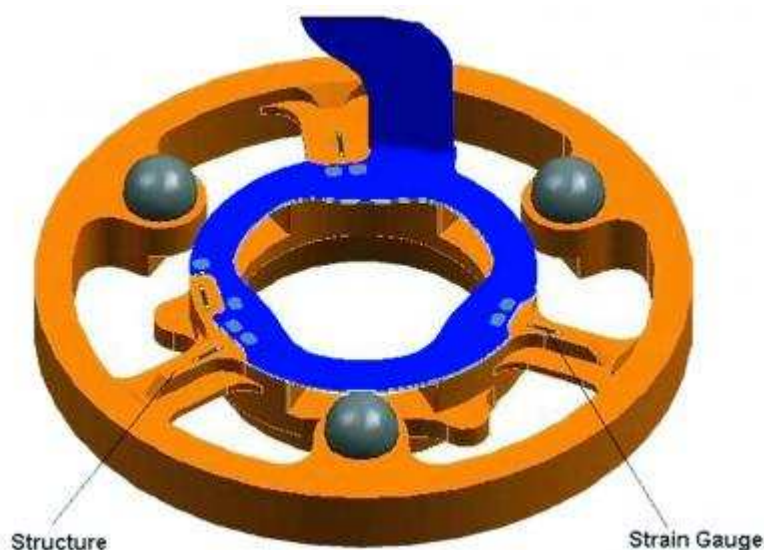
Strain Gauge sondy pracují s použitím tenzometrických křemíkových můstků. Tyto můstky slouží k detekci kolize dotyku sondy s obrobkem.

Se zvyšujícími se nároky na přesnost snímání, zejména zakřivený ploch vznikly nové požadavky na mechanismy dotykových sond. Požadavkem je snížení PTV. V polovině devadesátých let byla vyvinuta sonda MP700 obsahující technologii Strain Gauge. Tato technologie obsahuje princip tenzometrů.





## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



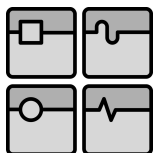
Obr. 11 talíř sondy s tenzometrem [1]

Strain gauge sonda opět využívá kinematického mechanismu pro přesné zabezpečení polohy dotykového hrotu. Změna je v použití tenzometrických křemíkových můstků pro detekci kolize s měřeným dílcem. Můstky jsou náchylné i na velmi malé síly vznikající ve spínacím mechanismu. Spínací signál je generován při použití mnohonásobně nižších sil než u kinematické sondy.[1]

Renishaw nabízí tenzometrické sondy s velmi nízkou hodnotou PTV. Nejnovější typy sond s tenzometrickou technologií: OMP400, OMP600, RMP600 a MP250. Nová kalibrační rutina umožňuje zkalibrovat sondu velmi rychle v několika směrech a poté provádět přesné a opakovatelné měření. Životnost mechanismu Rengauge je až desetkrát delší než u kinematických sond.



Obr. 12 tenzometrická sonda OMP400 [1]



### 3.3.2.1 Přesnost měření kinematických sond

Existují různé faktory ovlivňující přesnost měření kinematických sond. Jejich výsledkem je PTV (Pre-travel variation). Jde o zpoždění, které je způsobeno časovou prodlevou mezi dotykem kuličky hrotu s dílcem a zaznamenáním souřadnic z odměřovacích pravítek stroje. Tento jev je ovlivňován tuhostí jednotlivých elementů, tuhostí tlačné pružiny, tvarem měřeného obrobku, délkou dotykového hrotu, rychlostí posuvu atd. Snížení PTV chyby se předchází včasnou kalibrací, kterou provádí operátor CNC stroje.

### 3.4 Přesnost

#### **Reprodukovatelnost snímání**

Reprodukovatelností snímání rozumíme odchylky, které vzniknou opakovaným snímáním zkušebního vzorku v jednom směru.

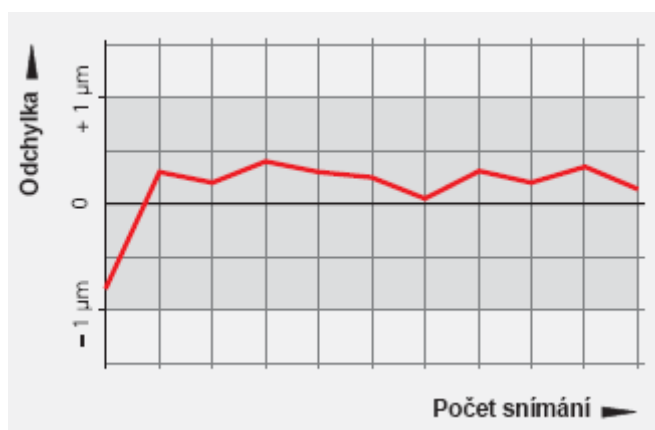
#### **Vliv dotykového hrotu**

Délka a materiál dotykového hrotu ovlivňují spínání 3D dotykové sondy. Dotykové hroty HEIDENHAIN zaručují přesnost snímání lepší než  $\pm 5 \mu\text{m}$ .

#### **Přesnost snímání**

Přesnost snímání je udávána maximální hodnotou z naměřených výchylek z různých směrů od zkušebního vzorku při 20°C. Přesnost snímání také zohledňuje efektivní poloměr doteku kuličky. Efektivní poloměr se skládá z poloměru kuličky doteku a s hodnoty potřebné k vychýlení doteku, aby byl vygenerován spínací signál. Tím jsou zohledněny také průhyby dotykového hrotu. Přesnost snímání 3D nástrojové sondy se zjišťuje u firmy HEIDENHAIN na přesných měřicích strojích.

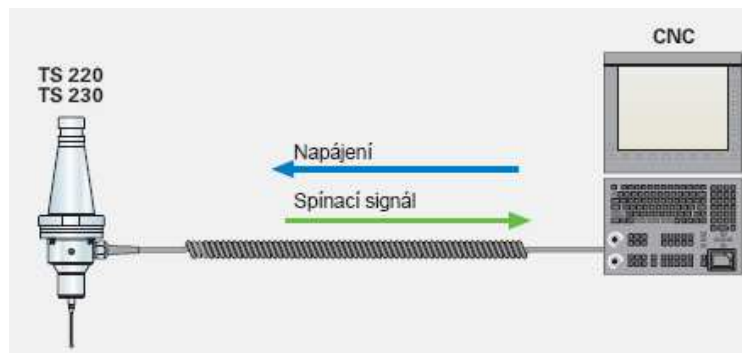
Dotyková sonda TS 740 firmy HEIDENHAIN se vyznačuje vysokou přesností, reprodukovatelností a malou dotykovou silou. Sonda TS 740 je vhodná pro náročné měřicí úlohy na CNC strojích.



Obr. 13 průběh reprodukovatelnosti snímání 3D dotykovou sondou TS 2xx/4xx/6xx při snímání z jednoho směru a definované orientaci vřetena[2]

### 3.5 Přenos signálu

#### Kabelový přenos signálu (sondy TS 220, TS 230)



Obr. 14 dotyková sonda s kabelovým přenosem signálu[2]

Sondy s kabelovým přenosem signálu se používají u manuální výměny nástrojů. Před upnutím musí být vřeteno zaplohou stop vřetena. Kabel slouží k přivodu napájení a k přenosu signálu.

#### Infračervený přenos signálu (sondy TS 44x, TS 640, TS 740)

Kontaktní sondy TS 44x, TS 640 a TS 740 přenášejí spínací signál infračerveným paprskem.

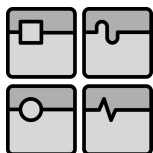
Tyto sondy se používají u automatické výměny nástrojů. Infračervený přenos probíhá mezi dotykovou sondou a vysílací/přijímací jednotkou SE. HEIDENHAIN nabízí vysílací/přijímací jednotky : SE 540 (montáž do vřeteníku) a SE 640 (montáž v prostoru stroje).

Lze je libovolně kombinovat s dotykovými sondami TS 440, TS 640 a TS 740.

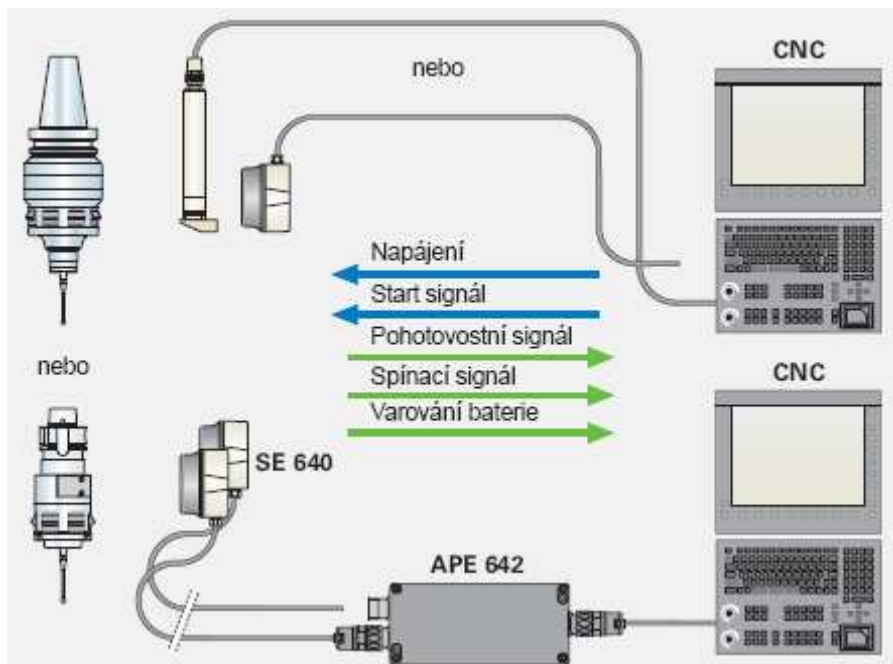
Infračervený přenos není citlivý na rušení. Proto má širokou oblast použití. Dá se používat na svislých, vodorovných vřetenech a také na sklopných hlavách.

Pokud nebude rozsah infračerveného přenosu stačit, dají se zkombinovat dvě jednotky SE 642 pomocí směšovací jednotky APE 642. Touto cestou je možno přenášet více signálů.

Prvním signálem je Start signál, aktivuje dotykovou sondu. Zpětná odezva o provozu sondy je pohotovostní signál. Při vychýlení dotykového hrotu sondy je generován spínací signál. Pokud baterie v sondě jsou příliš slabé(10%) je vyslán signál Varování baterie. Sestupnou hranou signálu se sonda opět vypíná.



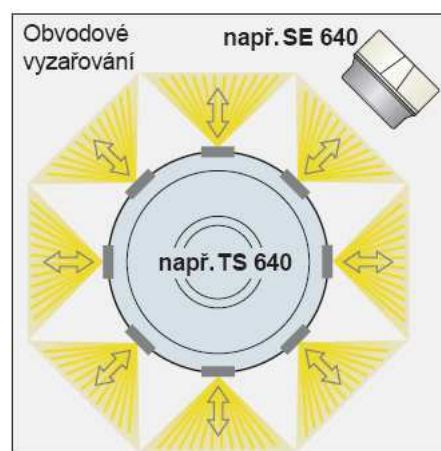
## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 15 dotykové sondy s infračerveným přenosem signálu[2]

**Obvodové vyzařování**

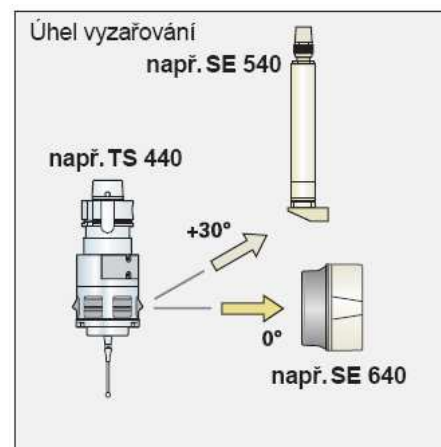
Po obvodu sondy jsou rovnoměrně rozloženy LED diody a připevněny přijímací moduly infračerveného přenosu. Nyní je umožněno obvodové vyzařování a spolehlivý příjem, aniž by bylo nutné polohovat vřeteno.



Obr. 16 Obvodové vyzařování [2]

**Úhel vyzařování**








Sondy jsou vyráběny s úhlem vyzařování 0° nebo 30°. Je tak zvýšena možnost výběru umístění sondy.

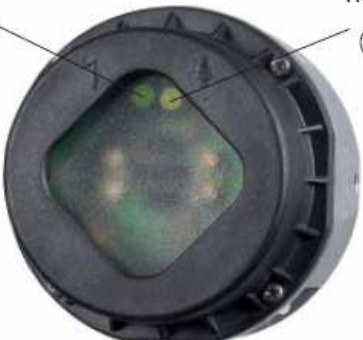


Obr. 17 Úhel vyzařování [2]

### Optická kontrola provozního stavu

Vysílač/přijímač SE 640 obsahuje dvě více barevné LED diody. Podle stavu zda dioda svítí, bliká se dá lehce zjistit vychýlení hrotu, stav baterií. To je velmi důležité obzvlášť při montáži přijímačů. Pouhým pohledem se dá zjistit stav přenosové cesty.

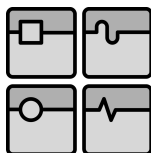
LED	Infračervený přenos	LED	Dotyková sonda
zelená 	v pořádku	zelená 	Dotyková sonda připravena Dotykový hrot v klidové poloze
žlutá 	ještě přípustná úroveň	žlutá 	Dotyková sonda připravena Dotykový hrot vychýlený
červená 	nepřípustná úroveň	červená 	Kapacita baterie < 10 % Vyměňte baterii
		nesvítí 	dotyková sonda není připravena



Obr. 18 optická signalizace provozního stavu sondy, přenosu [2]

### Optická kontrola provozního stavu TS

Dotykové sondy s infračerveným přenosem obsahují LED diody, které udávají stav sondy. Pokud LED blikají pomalu sonda je připravena k použití, pokud LED blikají rychle došlo k vychýlení hrotu. Pouhým okem je zjištěn stav sondy.



### Rádiový přenos signálu (RMP60)

Sonda RMP60 firmy Renishaw je vybavena rádiovým přenosem signálu. Tento přenos umožňuje použít sondu na velkých obráběcích strojích nebo na strojích s více osami (pětiosé), kde není dostatečná viditelnost mezi vysílačem a přijímačem.

Tento rádiový systém, využívá frekvenci 2,4 GHz. Proto je možné sondu použít na jakýkoliv obráběcí stroj.

Rádiová sonda RMP60, integrovaná jednotka interface a vysílač RMI je zařízením které využívá přenos FHSS. Což je rozšíření frekvenčního spektra přepínáním kmitočtu. Pokud jsou sonda nebo přijímač rušeny, automaticky se přeladí na jinou frekvenci, aby bylo dosaženo spolehlivého přenosu.[1]



Obr. 19 sonda RMP60 s rádiovým přenosem[1]

Výhody použití rádiového přenosu:

- frekvence 2,4GHz umožňuje používat tento přenos kdekoli na světě
- automatický výběr kanálů
- rozsah přenosu signálu až 15 m
- umožňuje použití více sond bez rizika rušení

### 3.6 Zásady pro přesné sejmutí bodu kontaktu

#### **Použití co nejkratší délky dotyku**

Pokud je dotek zbytečně dlouhý, tím více se ohýbá nebo vychyluje. Přesnost měření klesá. Proto je důležité použít co nejkratší dotek.

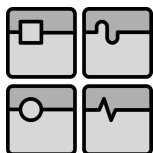
#### **Použijte co nejméně spojů**

Každým nastavením hrotu kontaktu se zvyšuje možnost vzniku deformací a bodů ohybu. Pro měření proto použijeme co nejmenší počet dílců k sestavení hrotu.

#### **Použijte co největší průměr kuličky**

Zde máme dva důvody. Za prvé, že dojde k vyplnění mezery mezi kuličkou a stopkou. Předcházíme tak sepnutím způsobených dotykem stopky měřeného objektu. Druhým důvodem je, že použití většího průměru kuličky sníží vliv jakosti povrchu měřeného dílce.

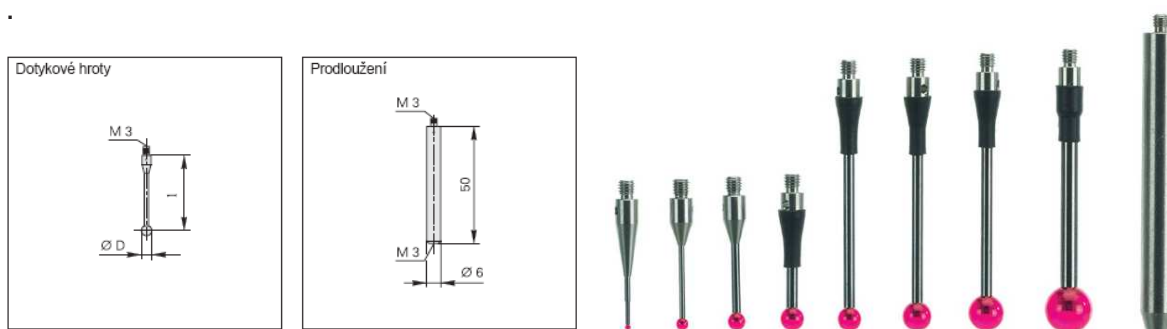




### 3.7 Dotykové hroty

Na trhu jsou k dostání různé typy dotykových hrotů. Pro porovnání jsou zde zobrazeny výměnné dotykové hroty od firem Renishaw a HEIDENHAIN.

**HEIDENHAIN** nabízí dotykové hroty o různých délkách stopky a průměrech kuličky. Pro připojení k sondě je použit na hrotu závit M3. Výměnný hrot s kuličkou o průměru 4mm a větší je opatřen vrubem na stopce, který chrání sondu před poškozením při nesprávné obsluze.



Obr. 20 výměnné dotykové hroty a prodloužení firmy HEIDENHAIN[2]

**Renishaw** nabízí doteky z několika typů: hvězdicové, diskové a přímé doteky, krátké a dlouhé, prodloužené a střížné kolíky. Pokud standardní nabídka nepostačuje, nabízejí komplexní řešení pro souřadnicové stroje.

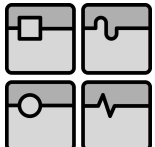


Obr. 21 výměnné dotykové hroty firmy Renishaw[1]

Výběrem z originální nabídky doteků získáte optimálně zvolený design a materiál doteku pro měření. Špatně zvolený dotek může výrazně snížit přesnost měření.

Při výběru doteku je nutné dodržet několik pravidel:

- minimální délka doteku
- minimální počet spojů
- velký průměr kuličky

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Materiály

Důležitý je výběr materiálu doteku a dříku. Renishaw nabízí materiály, kde každý vyhovuje jiným požadavkům na měření.

### **Materiál kuličky**

#### Rubín



Obr. 21 dotek s rubínovou kuličkou[1]

Rubín je jeden z nejtvrděších materiálů, vyhovuje většině měřících aplikací.

#### Nitrid křemíku



Obr. 22 dotek s kuličkou nitridu křemíku[1]

Nitrid křemíku je vhodný pro hliník, nedochází ke vzájemnému působení. Naopak kontaktem s ocelovým materiálem dochází ke značnému opotřebení.

#### Oxid zirkoničitý



Obr. 23 dotek s kuličkou oxidu zirkoničitého[1]

Oxid zirkoničitý je se přibližuje kvalitě rubínu. Je vhodný pro litinové součásti.



## **Materiál dříku**

### Ocel

Používá se nemagnetická nerezová ocel. Stopky doteků s kuličkou 2 mm do délky 30 mm. V tomto rozmezí délky a průměru poskytují dostatečnou tuhost.

### Karbid wolframu

Karbid wolframu se používá pro doteky s kuličkou pod 1 mm a délky až 50mm. Nevýhodou je velká hmotnost.

### Keramika

Dřík vyrobený z keramiky je mnohem lehčí než z karbidu wolframu. U průměru kuličky nad 3 mm a při délce přes 30 mm mají tuhost porovnatelnou s ocelí. Stopky z keramiky jsou křehké a tím, že se při kolizi roztrhají chrání sondu před poškozením.

### Uhlíková vlákna

Materiál Renishaw GF vyrobený z uhlíkových vláken má velkou axiální tuhost a nízkou hmotnost. Používá se u sond založených na tenzometrickém principu (velmi přesné sondy). Tlumí vibrace a má nízký koeficient teplotní roztažnosti.

## **3.8 Snímání**

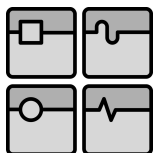
Najetím k obrobku a dotykem sondy o stěnu dílce můžeme zjistit polohu a tvar měřené součásti.

Při této operaci musí být měřený povrch očištěn od třísek vzniklých obráběním. Jinak může dojít ke zniku chyb měření a následně výroby zmetku.

Vychýlením dotykového hrotu, se přenáší spínací signál do NC řízení. Okem můžeme sledovat děj pomocí LED diod.



Obr. 24 snímání dotykovou sondou[2]



### **3.8.1 Rychlost snímání**

Opakovatelnost snímání je ovlivněna časovým průběhem signálu při zpracování v CNC. Rychlost snímání je taky ovlivněna hodnotou vychýlení dotykového hrotu. Dovolená rychlost je udávána v parametrech přístroje.

### **3.9 Vychýlení dotykového hrotu**

Maximální vychýlení dotykového hrotu bývá obvykle 5 mm do všech směrů. V délce této dráhy musí stroj stihnout zastavit, aby nedošlo k poškození sondy. Dotykové sondy určené pro automatickou výměnu ve stroji jsou vybaveny ofukovacím zařízením.

Sonda je opatřena třemi tryskami, kudy proudí stlačený vzduch. Vzduch odstraňuje třísky a zbytky emulze z místa měření.

Kvalitně očištěný povrch je předpokladem pro přesné měření, hlavně v automatizovaném provozu.

Sonda s ofukováním lze použít na strojích, které obsahují přívod stlačeného vzduchu do vřetene. Stlačený vzduch se také používá jako zdroj energie pro sondu. Sonda obsahuje malou turbínku, která vyrábí elektrickou energii a nabíjí kondenzátory. Není tak potřeba baterií.



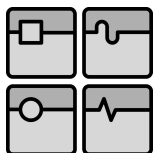
Obr. 25 sonda  
s ofukovacím zařízením  
(TS444)[2]

### **3.10 Krytování kontaktních sond**

U strojů s ruční výměnou nástrojů není potřeba žádné speciální krytování sondy před emulzí a nečistotami. A to z důvodu, že při obrábění je vyjmuta ven ze stroje.

Sonda používaná ve stroji s automatickou výměnou nástrojů je během obrábění uložena v zásobníku nástrojů jako kterýkoli jiný nástroj. Zde je sonda v dostatečné vzdálenosti od vznikajících třísek a rozstřikování emulzní kapaliny.

### **3.11 Řešení pro obráběcí centra**



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**OMP40-2**

Kompaktní dotyková sonda s infračerveným přenosem dat, vhodná pro malá obráběcí centra.

OMP40-2 je k dispozici s OMI-2 a OMI-2T přijímačem, který má zvýšenou odolnost vůči rušení světlem.

Vlastnosti a výhody

- kompaktní (Ø40 mm a 50 mm délka)
- ideální pro dodatečnou montáž
- odolnost proti vibracím
- dlouhá životnost baterie



Obr. 26 kontaktní sonda OMP40-2[1]

**OMP60**

Dotyková sonda s optickým přenosem vhodná pro střední až velké obráběcí centra.

Sonda OMP60 je kompatibilní se všemi optickými přijímači Renishaw.

Vlastnosti a výhody

- rozměry sondy (Ø63 mm x 76 mm)
- při použití s OMI-2 se vyhneme optickému rušení
- použití AA baterií
- infračervené vyzařování po celém obvodu sondy až na 6 m



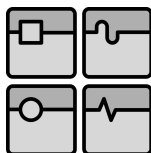
Obr. 27 kontaktní sonda OMP60[1]

**MP700**

Dotyková sonda s optickým přenosem, s její pomocí docílíme velmi přesného ustavení. Ideální pro střední až velká obráběcí centra. Sonda pracuje na principu tenzometrů a tím docílí velmi přesných výsledků. Je ideální pro složité součásti. Přenos infračerveného paprsku až na 9,5 m.



Obr. 28 kontaktní sonda MP700[1]



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**OMP400**

Kompaktní dotyková sonda s velkou přesností pro malá a středně velká obráběcí centra. Pracuje na technologii Rengage jako sonda MP700, ale velikostně se blíží sondě OMP40. Přináší bezkonkurenční výkon v oblasti 3D měření. Je navržena tak, aby odolávala nepříznivým pracovním podmínkám.



Obr. 29 kontaktní sonda OMP400[1]

**RMP60**

Kontaktní sonda s rádiovým přenosem signálu. Vhodná pro velká obráběcí centra a tam kde infračervený přenos nestačí.

Vlastnosti a výhody

- rozměry sondy (Ø63 mm x 76 mm)
- frekvence přenosu 2,4GHz
- není potřeba výběr kanálu
- dosah datového toku až 15 m






Obr. 30 kontaktní sonda RMP60[1]

**Výběr sondy dle typu frézovacího centra**

Typ stroje	Velikost stroje	Sondy pro ustavení a měření obrobku	Řešení pro nastavování nástrojů	
			Detekce poškození nástrojů a nastavování nástrojů	Detekce poškození nástrojů
 Vertikální CNC obráběcí centra	Kompaktní	OMP40-2/OMP400	OTS/TS27R/NC4	TRS2
	Malý	OMP40-2/OMP400	OTS/TS27R/NC4	TRS2
	Střední	OMP60/RMP60/RMP600	OTS/TS27R/NC4	TRS2
	Velký	RMP60/RMP600	TS27R/NC4	TRS2

Obr. 31a - průvodce výběru sondy[1]

<b>Horizontální CNC obráběcí centra</b> 	Kompaktní	OMP40-2/OMP400	OTS/NC4	TRS2
	Malý	OMP40-2/OMP400	OTS/NC4	TRS2
	Střední	OMP60/RMP60/ RMP600	OTS/NC4	TRS2
	Velký	RMP60/RMP600	NC4	TRS2
<b>Portálová CNC obráběcí centra</b> 	Vše	RMP60/RMP600	TS27R	NC4/TRS2
<b>Manuální stroje</b> 	Vše	Kontaktní nastavovací sonda (JCP)	Není k dispozici	Není k dispozici

Obr. 31b - průvodce výběru sondy[1]

#### 4. Bezkontaktní sondy

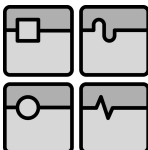
Tyto sondy používají bezkontaktní laserový systém. Na CNC strojích jsou nástrojové bezkontaktní sondy použity k dovednostem týkajících se nástrojů (detekce zlomení, ustavení polohy nástroje). Měření dílce bezkontaktně je pouze na měřicích, nikoli na obráběcích strojích.

#### 5. Shrnutí

V současné době jsou nejlepší výsledky z hlediska přesnosti snímání kontaktní metodou. Bezkontaktní metoda se používá na měřicích strojích, je vhodná pro velmi měkké a křehké prvky.

Kontaktní sondy mají proti bezkontaktním několik výhod:

- snímání povrch nemusí být antireflexivně upraven
- hustota nasnímaných dat není pevně daná, ale je závislá na tvaru dílce
- není potřeba ručně editovat omylem sejmuté body vzniklé odrazem světla
- možné přesné nasnímáné i kolmých stěn

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 30
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

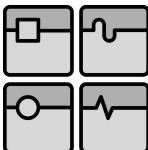
## Závěr

Použití kontaktních a bezkontaktních sond se stále zvyšuje a zdokonaluje po celém světě. “Staré”, doposud používané metody seřízení stroje, obrobku a měření vyráběných dílců je nahrazováno novými metodami pomocí sond, které jsou vyhlídkou do budoucna.

Tato bakalářská práce se zabývala popisem metod ustavení a měření dílců na obráběcích centrech dotykovými a bezdotykovými sondami.

Z výsledků studia vyplynuly následující poznatky:

- Moderním trendem pro zrychlení časů při ustavování a měření obrobků jsou snímací systémy. Jsou to sondy, které se dle principu funkce dělí na kontaktní a bezkontaktní.
- Tyto snímací prvky se s použitím naváděcího programu vyznačují velmi rychlým přístupem k bodu, který chceme změřit a vyhodnocením dané pozice.
- Z testu, kdy byly použity snímací systémy a “staré” metody (číselníkový úchylkoměr) plyne, že výrobní časy se zkrátily až o 25%.
- Naměřené hodnoty se taky používají pro korekci opotřebení nástroje a k posouzení přesnosti stroje.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 31
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### **Seznam použitých zdrojů**

1. <http://renishaw.cz>
2. <http://heidenhain.cz>
3. [http://techtydenik.cz/cnc\\_priklady/priklad\\_21.pdf](http://techtydenik.cz/cnc_priklady/priklad_21.pdf)
4. <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-serizovani-nastroju-laserem>
5. [http://resources.renishaw.com/download/\(1f2468c7e0ff45a0b489f46203e54391\)?lang=cs&inline=true](http://resources.renishaw.com/download/(1f2468c7e0ff45a0b489f46203e54391)?lang=cs&inline=true)
6. <http://www.mmspektrum.com/clanek/je-cas-ziskat-cas>
7. <http://www.t-support.cz/t-support/index.php?rubrika=57>
8. [http://resources.renishaw.com/download/\(6533cb12b65c4825bd1f671d9c1ed0c4\)?lang=cs&inline=true](http://resources.renishaw.com/download/(6533cb12b65c4825bd1f671d9c1ed0c4)?lang=cs&inline=true)
9. <http://www.mmspektrum.com/clanek/jistota-kvalitniho-obrobku>
10. <http://www.technikaatrh.cz/news/2004/TechnikaNews20040702.htm>
11. [http://www.infocube.cz/images/kovoinzert/clanky/S%20Renishaw%20na%20vrchol%20\\_26.pdf](http://www.infocube.cz/images/kovoinzert/clanky/S%20Renishaw%20na%20vrchol%20_26.pdf)

### **Seznam použitých zkratk a symbolů**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CNC		počítačové číslicové řízení
TS		přenosová soustava
LED		dioda, která vyzařuje světlo
PTV		doba zpoždění mezi dotykem sondy a zaznamenáním hodnot ze souřadnic stroje
APE		směšovací jednotka signálů
SE		přijímací jednotka signálu
RMI		vysílač signálu
FHSS		rozšíření frekvenčního světla